



Análise de NO₂, NH₃ e PTS na Atmosfera de Paranaguá - PR

Felipe Foroni Cota Souza ¹
Edipo Vinicius Tagliatela ²
Bruno Martins Gurgatz ³
Luciano Fernandes Huergo ⁴
Rodrigo Arantes Reis ⁵

RESUMO

As áreas portuárias são centros de atividades econômicas e também grandes geradoras de impactos ao meio ambiente. Nestas, ocorrem várias fontes de emissão de poluentes para a atmosfera. As consequências na saúde da população local, devido à grande emissão de poluentes no ar são diversas, e consistem no maior risco ambiental a saúde humana atualmente. Paranaguá tem sua economia baseada na atividade portuária, sendo o porto de Paranaguá um dos mais importantes do Brasil e o maior exportador de grãos da América Latina. Neste estudo, foi utilizado um equipamento chamado de APV (Amostrador de Pequeno Volume) para avaliação das concentrações de amônia (NH₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂) e um AGV (Amostrador de Grande volume) para a avaliação de material particulado em suspensão (PTS). O monitoramento da qualidade do ar foi realizado ao longo de 12 meses. A média anual para dióxido de nitrogênio, amônia e Partículas totais em suspensão ficou no entorno de $12,9 \pm 7,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3,61 \pm 3,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $73,91 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 36,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Os dados foram relacionados com variáveis climática e de tráfego rodoviário, utilizando-se para isto o software estatístico R. As médias anuais dos poluentes amostrados foram comparadas aos resultados obtidos em pesquisas ao redor do mundo, identificando valores similares ou superiores aos de localidades mais populosas ou com intensas atividades antrópicas.

Palavras-Chave: Poluição Atmosférica; Porto; Paranaguá.

¹ Mestrado em Desenvolvimento Territorial Sustentável pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-7209-813X>. foronifelipe@gmail.com

² Mestrado em Desenvolvimento Territorial Sustentável pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. edipovst@gmail.com

³ Doutorado em andamento em Sistemas Costeiros e Oceânicos pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. Mestrado em Desenvolvimento Territorial Sustentável pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-7059-7533>. brunogurgatz@gmail.com

⁴ Doutorado em Ciências (Bioquímica) pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil; com período sanduíche em John Innes Centre. Docente na Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-7587-9510>. luciano.huergo@gmail.com

⁵ Doutorado em Ciências (Bioquímica) pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil; com período sanduíche em Karl-Franzens-University Graz. Docente na Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-8082-1591>. reisra@gmail.com

Os aerossóis atmosféricos estão entre os principais poluentes da atmosfera, e consistem em um complexo de substâncias sólidas, líquidas e gasosas de partículas orgânicas e inorgânicas suspensas na atmosfera.

Diversos estudos epidemiológicos correlatam a exposição aos aerossóis com aumento de hospitalização por problemas cardiovasculares, sendo estes os efeitos mais relevantes para o organismo (Lin et al. 2016; Cai et al. 2016). Além disso, existem numerosos estudos epidemiológicos que mostram a associação entre a poluição do ar e uma ampla gama de efeitos adversos para a saúde humana, que variam de efeitos sutis à morte prematura. Em 2016 a Organização Mundial da Saúde estimou que, somente naquele ano, aproximadamente três milhões de mortes no mundo foram influenciadas pela presença da poluição atmosférica em ambientes internos e externos (WHO 2016). A exposição é onipresente e involuntária, aumentando a importância deste fator determinante da saúde (WHO 2013).

A poluição atmosférica é amplamente associada com riscos elevados e adversos à gravidez, tais como baixo: peso ao nascer, parto prematuro, retardo do crescimento intrauterino e defeitos de nascimento. A lista de morbidades relacionadas à exposição cresce a cada ano, essa lista inclui: a diminuição das habilidades cognitivas, tais como respostas motora e de memória, sequelas do sistema nervoso, como fadigas, dor de cabeça e dificuldade de concentração, distúrbios neurológicos, tais como a doença de Alzheimer, de Parkinson, déficit de atenção, hiperatividade, autismo, diabetes e câncer (Basahi, Ismail, and Hassan 2014; Mannucci et al. 2015; Macintyre et al. 2016; Weisskopf, Kioumourtzoglou, and Roberts 2015; Ritz et al. 2016).

A atividade portuária e o transporte marinho, principalmente devido ao uso massivo de combustíveis fósseis (Reche et al. 2011; Pandolfi et al. 2011), bem como as atividades industriais são consideradas importantes fontes de aerossóis atmosféricos (Li, Qian, and Wang 2013; Francová et al. 2017).

Além dos aerossóis, diversos gases são emitidos para a atmosfera por meio natural (processos biológicos) e antropogênicos, como os óxidos de nitrogênio (NO_x) e a amônia (NH₃). Nie et al. (2013) relatam que a concentração de NO_x em Pequim tem aumentado devido ao rápido crescimento na quantidade de veículos em circulação nesta cidade. Outros estudos estimaram que o tráfego é responsável pela emissão de 70% do NO_x em Londres, sendo que a maior porcentagem é proveniente de ônibus (28%) seguido pelos táxis (21%) Zbieranowski & Aherne (2012). Dentre os veículos movidos por combustão, as emissões no setor do transporte marítimo contribuem significativamente para a poluição global do ar, pois emitem óxidos de nitrogênio em larga escala na atmosfera (Tzannatos 2010).

As principais fontes de emissão do gás amônia são indústrias, veículos de transporte terrestre (carros, caminhões, ônibus e motocicletas) e fertilizantes agrícolas, sendo estes considerados a maior fonte antrópica de emissão de amônia na atmosfera (Mozeto 2001; Zhou et al. 2015). Um estudo revelou que 96% do total de amônia emitido na Europa é devido a gestão de resíduos orgânicos e fertilizantes de solos agrícolas (Backes et al. 2016).

Os impactos causados pela emissão da amônia podem ser observados tanto no clima quanto nos ecossistemas. Segundo afirmam Zhou et al. (2015), van der Swaluw et al. (2011) e Viana et al. (2014) por ser um importante constituinte alcalino na atmosfera este poluente pode trazer impactos diretos ou indiretos na qualidade do ar, mudança climática e acidificação da água e do solo. Nas principais cidades da China, constatou-se que a emissão de amônia afeta a média mensal de material particulado fino, sendo que a emissão de uma tonelada de amônia por Km² poderia resultar em um aumento de 33 µg/m³ deste poluente na região emitida (Wu et al. 2016).

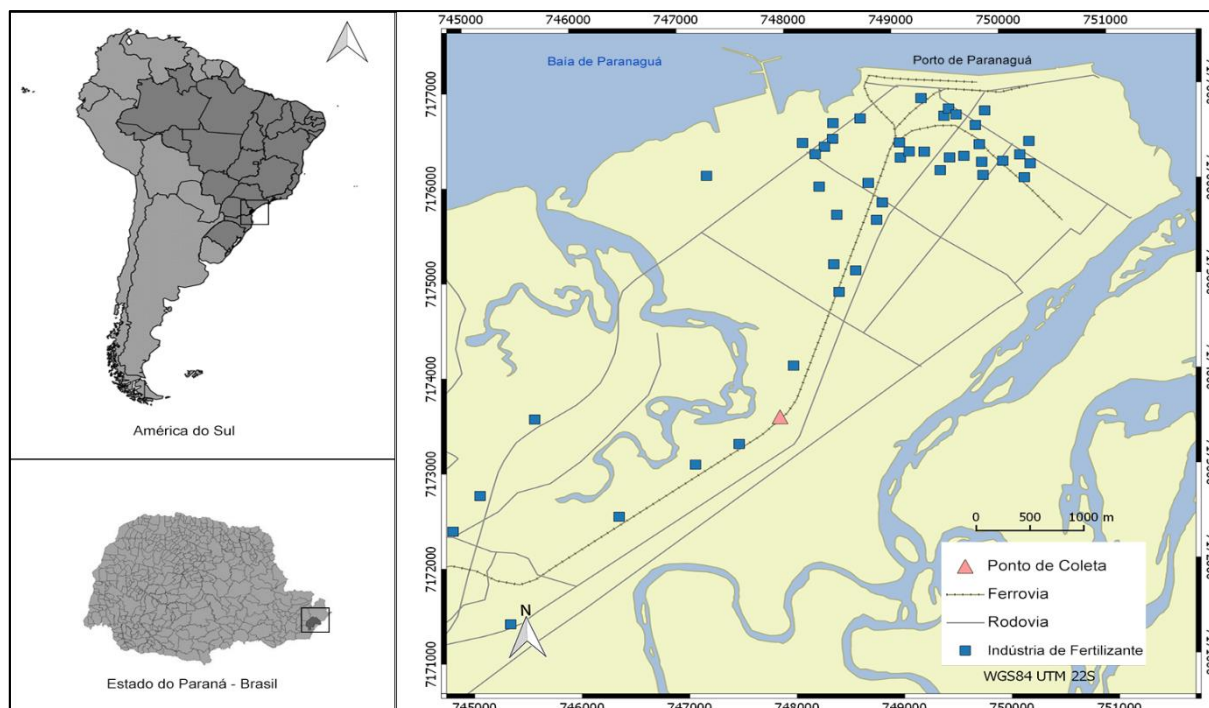
A região de Paranaguá está localizada na área estuarina do estado do Paraná, sul do Brasil, compondo a maior área contínua de Mata Atlântica, bioma inserido entre os principais *hotspots* de prioridade para conservação da biodiversidade do mundo (Myers et al. 2000). Paranaguá abriga o Porto D. Pedro II, que é o maior porto graneleiro da América Latina e um dos maiores do Brasil. Com uma população estimada de 154.936 habitantes (IBGE 2019) é o principal centro de serviços da região do Litoral do Paraná. Além disso, tem constituído um importante complexo industrial vinculado à importação, produção e mistura de minerais fertilizantes agrícolas. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar e quantificar a presença de determinados contaminantes atmosféricos relacionados a tais atividades, especificamente amônia, dióxido de nitrogênio e partículas totais em suspensão no município de Paranaguá.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Os amostradores atmosféricos foram instalados na cidade de Paranaguá-PR, no interior de um Colégio Estadual, o qual se encontra ao lado da linha férrea e a cerca de 03 Km do Porto de Paranaguá. Próximos desta instituição educacional são encontradas importantes estruturas relacionadas a atividade portuária como um grande depósito de fertilizantes da região, e a principal rodovia de acesso ao porto. (Figura 01).

Figura 01. Localização do colégio, e as potenciais fontes de emissão. O local de coleta está situado entre depósitos de fertilizante. A principal avenida que dá acesso ao porto, como também o trilho fica próximos ao ponto de coleta.



Fonte: Os autores (2016).

2.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISES

A amostragem dos poluentes foi realizada em um período de 12 meses, iniciando em junho de 2015 e teve seu término no mês de maio de 2016. Delimitou-se um mínimo de sete amostras por mês de cada poluente a ser amostrado.

Para as análises de amônia foram realizadas amostragens de 01 hora, sempre no período entre as 09 h até as 12 h. As amostras de NO₂ e PTS foram feitas por um período de 24 h. Para determinar a concentração de NO₂ e NH₃ foi utilizado um equipamento do tipo APV (Amostrador de Pequeno Volume), modelo TRIGAS-1 (110 V) da empresa Energética, com vazão livre de 30,5 L/min. Para a coleta das amostras das partículas totais em suspensão (PTS), foi utilizado o Amostrador de Grande Volume para Partículas Totais em Suspensão com Vazão Controlada (AGV PTS/CVV), aparelho produzido pela Energética S/A, com vazão imprimida pelo aparelho de 1,22 m³/min. A quantificação da amônia foi realizada segundo a Metodologia do Indofenol proposta por (Lodge 1988). Para a análise de dióxido de nitrogênio na atmosfera foi utilizada o método do Arsenito de Sódio para a Determinação de Dióxido de Nitrogênio na Atmosfera (Energética Ltda 2016). Os padrões de análise e os reagentes amostrados para amônia e dióxido de nitrogênio foram medidos em um

espectrofotômetro da *Hach*, modelo UV – VIS *spectrophotometer*. A concentração de PTS foi obtida a partir do método gravimétrico, relacionando a massa aferida com o volume de ar amostrado em cada amostra. Respeitando as normas de setembro de 1997 do método da ABNT, NBR 9547, “Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente – Determinação da Concentração Total pelo Método do Amostrador de Grande Volume”. Esta versão de setembro de 1997 foi montada à luz da versão de 01/07/88 do método Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA 2015).

Os resultados foram analisados a partir de estatísticas descritivas, visando a comparação com níveis obtidos em outras cidades. Além disso, foram produzidos gráficos temporais para ilustrar a variação ao longo do período estudado.

Gráficos de plotagem polar bivariada entre os valores dos poluentes e variáveis de direção e velocidade do vento foram produzidos visando compreender como estas variáveis climáticas influenciam na provável dispersão dos poluentes. Por fim, realizou-se também uma comparação dos níveis de NO₂ e PTS com valores médios mensais de veículos de grande porte que cruzaram a praça de pedágio da principal via de acesso ao porto de Paranaguá. Para tal, utilizou-se a normalização de tais variáveis (valor dividido pela média).

Todos os gráficos e análises estatísticas foram confeccionados através do software estatístico R (The R Development Core Team 2008) e pacote *OpenAir* (Carslaw and Ropkins 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

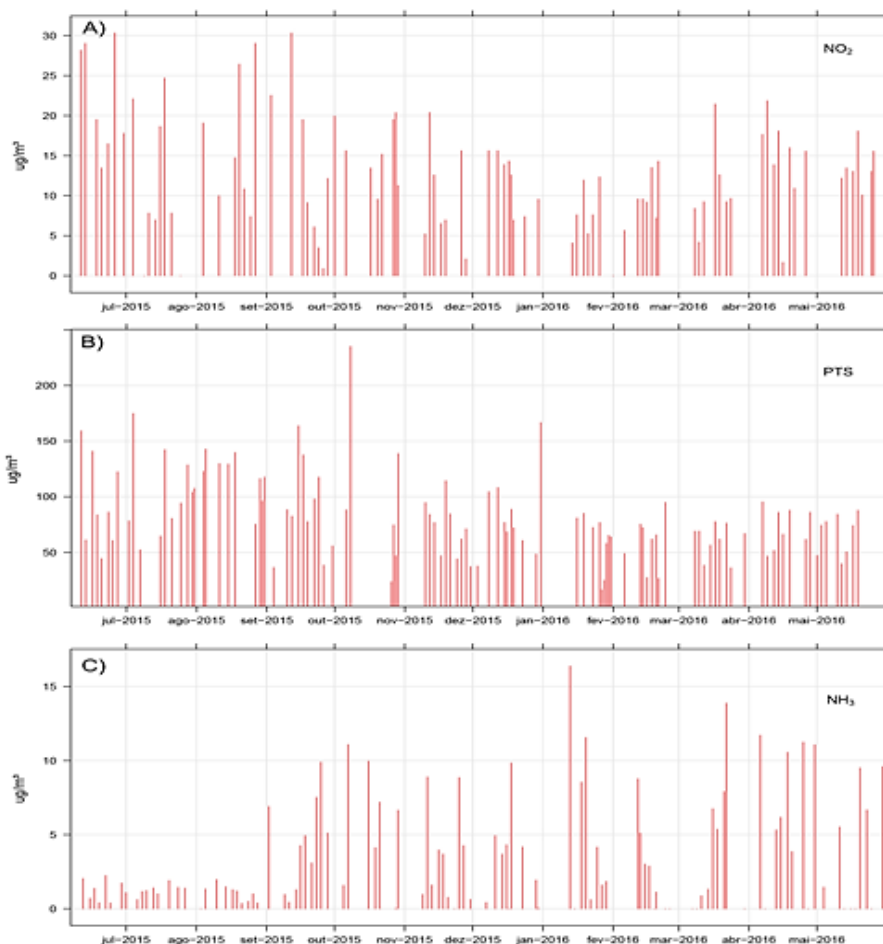
A avaliação da emissão de NO₂ teve início no dia 11 de junho de 2015 e finalizou no dia 26 de maio de 2016, sendo realizadas 100 amostragens deste poluente em um ano de amostragem (Figura 02A). A média anual, levando em conta as amostragens feitas ao longo da pesquisa no colégio, ficou em $12,9 \pm 7,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentando grande variabilidade ao longo do período estudado (Figura 02A).

Este resultado foi maior que o encontrado na cidade de Ontário no Canadá, entre os anos de 2010 a 2011, em um local com grande densidade populacional, com intenso movimento de tráfego de veículos terrestres, atividades rurais e industriais, onde observaram uma concentração média de $5,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zbieranowski and Aherne 2012). Além disso, o valor obtido ficou próximo ao encontrado na cidade de Kyushu no Japão, em uma bacia hidrográfica de floresta suburbana onde identificaram média de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período investigado.

Quando a média anual de dióxido de nitrogênio feita na maior cidade portuária do Paraná é comparada com cidades de grande porte e tráfego de veículos, além da intensa urbanização, a diferença torna-se maior, por exemplo: em Barcelona, na Espanha, em uma área de alto fluxo de tráfego de

veículos terrestres e industriais, observaram a média anual de $63,4 \pm 30,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em Cairo, capital do Egito, conhecida como uma cidade de poluição atmosférica pesada, devido a atividades industriais, tráfego pesado e poeira do deserto, foi observada uma média anual de $64,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o poluente. Em Londres, no Reino Unido, em áreas próximas a escolas, na região urbana, a média anual foi $60,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 01).

Figura 02. Valores absolutos das amostragens de poluentes atmosféricos em Paranaguá no período entre 08/2015 a 05/2016; A figura apresenta os resultados encontrados para dióxido de nitrogênio (A), Partículas Totais em Suspensão (B) e Amônia (C) com valores expressos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Fonte: Os autores (2016).

Nesta avaliação os resultados foram ao encontro dos resultados obtido em outras pesquisas. Conforme descrito na revisão bibliográfica, vários pesquisadores constatarem uma estreita relação entre a emissão de dióxido de nitrogênio e atividades de transporte, por exemplo: Ilyas (2010) relata que o transporte é responsável por cerca de 50% da emissão de óxidos de nitrogênio ao redor do mundo. Khwaja & Khan (2005) estimam que mais de 70% da emissão de NO₂ é proveniente do transporte, aliadas as usinas e indústrias no Paquistão. O tráfego de veículos terrestres emite 70% de NO_x em

Londres, sendo que a maior porcentagem é proveniente de ônibus (28%) seguido pelos táxis (21%) (Guerriero et al. 2016).

A avaliação da emissão de amônia no ponto de amostragem, se iniciou no dia 12 de junho de 2015 e foi finalizado no dia 30 de maio de 2016, totalizando 110 amostragens ao longo de um ano. A média anual deste poluente foi de $3,61 \pm 3,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 02C), também com grande variabilidade, apontando inconstância nas emissões.

Este resultado foi maior comparado com várias médias anuais encontradas ao redor do mundo, por exemplo: em Pequim na China, e em Bangkok na Tailândia, duas metrópoles asiáticas reconhecidas pela sua forte industrialização e tráfego, foram encontradas médias anuais de $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em Nova Iorque, grande metrópole com fluxo intenso de veículos e amostragem em área urbanizada, os valores foram superiores aos das cidades costeiras, com predominância de agricultura e pecuária como Delaware, Kinston e Morehead, nos Estados unidos. As médias anuais encontradas foram de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Em Gwangju na Coreia do Sul, em área urbana próxima de região com agricultura, foi encontrada uma média anual de $2,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na cidade de Aveiro em Portugal, e de Tessalônica na Grécia, foi encontrada uma média de $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Tais cidades se localizam em áreas costeiras e abrigam portos, apresentando similaridades com Paranaguá, porém, com maior população.

A média anual encontrada em Paranaguá ficou próximo aos resultados encontrados e algumas cidades grandes e urbanizadas, por exemplo: em Colorado, Nova Iorque e Clinton, nos Estados Unidos, aonde foram obtidas médias anuais de $7,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $4,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em Roma na Itália, cidade com alto grau de urbanização e presença de atividade portuária em sua região metropolitana, foi encontrada uma média de $3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

As médias de NH₃ encontradas em Paranaguá não diferem do padrão encontrado para outras pesquisas. Vários pesquisadores constataram uma estreita relação entre a emissão de amônia e indústria de fertilizantes. Segundo Krupa (2003) a principal fonte de amônia na atmosfera se dá a partir da manufatura destes produtos, isso se deve pelo processo com que eles são coletados, estocados e espalhados, sendo que a maior parte é composta de estrume líquido e sólido. Mozeto (2001) chegou a afirmar que, o uso do fertilizante na agricultura é responsável pela maior emissão antrópica deste gás na atmosfera devido a utilização de: ureia, bicarbonato de amônio, nitrato de amônio e sulfato de amônio; van Aardenne et al. (2001) constataram que 90% do total de amônia emitido na atmosfera é

proveniente de fontes agrícolas; segundo Backes et al. (2016) um outro estudo revelou que 96% do total de amônia emitido na Europa é devido a gestão de resíduos orgânicos e fertilizantes de solos agrícolas, sendo que aquele é responsável por 53% e este por 43%. Ianniello et al. (2010) relataram que na China 80 % da emissão de amônia é proveniente da agricultura, devido a excreção gasosa do gado e aplicação de fertilizante nitrogenado.

A amostragem de PTS teve a duração de 13 meses, com início em 04/06/2015 e término em 28/06/2016. Foram efetuadas 116 amostras durante o período da pesquisa com variação de seis a 10 amostras por mês (Figura 02B). A média geométrica da concentração de partículas totais em suspensão no período amostrado foi de $73,91 \pm 36,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor considerado próximo do padrão anual ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) estabelecido pela Resolução do CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018 (CONAMA 2018).

Conforme apresentado, embora nenhuma amostra tenha excedido o padrão para 24 horas do CONAMA a média anual, ficou próxima ao limite estabelecido pela norma ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o que sugere um alto risco para a população e o ecossistema regional, por conta da exposição crônica aos aerossóis atmosféricos. A tabela 01 reúne resultados de estudos de monitoramento de aerossóis atmosféricos em diferentes pontos do globo, locais com características e graus de ocupações humanas distintas.

Buenos Aires, capital da Argentina e uma das maiores cidades daquele País, abriga o principal porto do país, Murrini et al. (2009) estudaram a composição elementar e a diferença de concentração de aerossóis atmosféricos entre os diversos pontos da cidade entre os anos de 2005 e 2006, através de dados produzidos pelos órgãos ambientais argentinos. Constataram uma variação de concentração de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em ambientes externos. Embora haja uma significativa diferença entre as dimensões territoriais e de uso e ocupação do solo entre Paranaguá e Buenos Aires, considerando o segundo com dimensões e taxa de antropização muito superior ao primeiro, os índices de concentração de aerossóis entre os dois estudos estão relativamente próximos, com valores de amostras diárias ainda maiores no presente estudo.

Um estudo realizado por Tagliatella (2014) no município de Paranaguá, entre os anos de 2012 e 2014, em um ponto de coleta próximo ao complexo portuário e industrial, foram registradas médias geométricas de $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no primeiro e no segundo ano de pesquisa respectivamente. As amostras apresentaram concentrações de aerossóis que variaram entre $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $435 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A comparação entre os resultados do presente estudo e o outro estudo realizado no município de Paranaguá por Tagliatella (2014), à primeira vista nos mostra uma diferença relativamente alta de concentração de aerossóis atmosféricos tanto em concentração por amostras e quantidades de amostras

que passaram os padrões do CONAMA. Tal fato pode ser relacionado à localização do ponto de coleta onde foi realizado tal estudo, situado próximo ao complexo portuário Dom Pedro II e em frente a uma indústria de mistura e transporte de fertilizantes.

Tabela 01. Resultado da concentração de NO₂ e NH₃ obtidos em pesquisas ao redor do mundo.

NO ₂							
Local	Período	Média (µg/m ³)	Autor	Local	Período	Média (µg/m ³)	Autor
Paranaguá, Brasil	2015-2016	12,9 ± 7,41	Presente trabalho	Ontário, Canadá	2010-2011	5,75	Zbieranowski & Aherne (2012)
Barcelona, Espanha	2010-2012	63,4 ± 30,3	Malik and Tauler (2015)	Londres, Reino Unido	2011-2012	60,4	Guerriero et al. (2016)
Cairo, Egito	2009-2010	64,55	Hassan, El-Abssawy, and Khoder (2013)	Paranaguá, Brasil	2014	27,18	Foroni et al. (2017)
Lanzhou Valley, China	-----	41	Ta et al. (2004)	Sarajevo, Bósnia	2005	26	Habeš et al. (2013)
Kolkota, Índia	-----	32.5	Gupta et al. (2008)	Kyushu, Japão	-----	16	Chiwa (2010)
NH ₃							
Local	Período	Média (µg/m ³)	Autor	Local	Período	Média (µg/m ³)	Autor
Paranaguá, Brasil	2015-2016	3,61 ± 3,82	Presente trabalho	Colorado, EUA	-----	7	Day et al. (2012)
Gwangju, Coreia do Sul	-----	2,33	Gupta et al. (2008)	Cairo, Egito	2009	45	Hassan, El-Abssawy, and Khoder (2013)
Croácia	-----	45	Reche et al. (2012)	Taiwan	2002	8,3	Lin & Cheng (2007)
Nova Iorque, EUA	-----	3,5	Matsumoto & Okita (1998)	Yokohama, Japão	1987-1991	1,6	Yamamoto et al. (1995)
Aveiro, Portugal	1988-1989	3,1	Pio et al. (1991)	Bankok, Tailândia	1999-2001	0,6	Carmichael et al. (2003)
Agra, Índia	1997-1998	10,8	Parmar et al. (2001)	Pequim, China	1999-2001	0,6	Carmichael et al. (2003)
Nova Iorque, EUA	1999-2000	4	Bari et al. (2003)	Clinton, EUA	2000	4,05	Walker et al. (2004)
Tessalônica, EUA	2002-2003	2,3	Anatolaki & Tsitouridou (2007)	Kinston, EUA	2000	2	Walker et al. (2004)
Roma, Itália	2001-2002	3,7	Perrino et al. (2002)	Morehead, EUA	2000	0,45	Walker et al. (2004)
Croácia	2000-2002	28,95	Alebic-Juretic (2008)	Kanpur, Índia	2007-2008	17,2	Behera & Sharma (2010)
Cidade do México, México	2006	17,7	Fountoukis et al. (2009)	Paranaguá, Brasil	2014	5,82	Foroni et al. (2017)
Ontário, Canadá	2010-2011	3,56	Zbieranowski & Aherne (2012)	Paranaguá, Brasil	2013	5,33	Foroni et al. (2017)
Delaware, EUA	2000-2001	1,6	Scudlark et al. (2005)				

(--) O símbolo indica que a informação não foi encontrada.

Fonte: Os autores (2016).

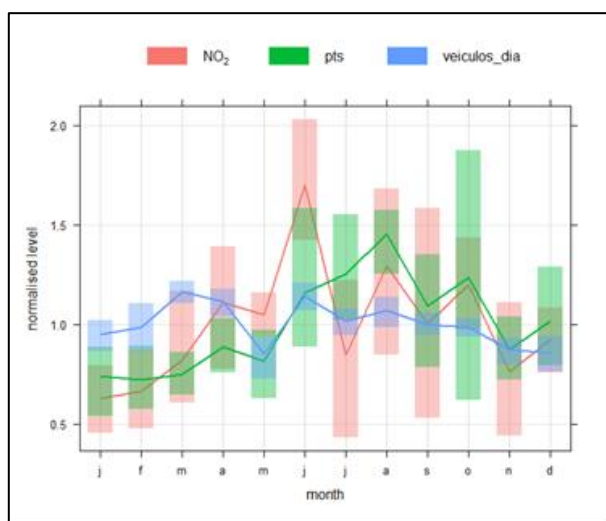
O presente estudo foi realizado em um local mais afastado da área portuária, mas com distância relativa de outras fontes de poluentes, tal como vias de acesso, armazém e indústrias de fertilizantes, como é possível observar na Imagem 02 e 03. A comparação entre os resultados, incita à

reflexão de que a presença de aerossóis atmosféricos em Paranaguá varia de acordo com a localização e proximidade das fontes de emissão, assim como afirma a literatura. O local de coleta do presente estudo possui uma distância relativamente maior dos pontos de emissão locais, se comparados à proximidade das fontes de emissão do estudo realizado por Tagliatella (2014) e um bairro do município de Paranaguá.

Beijing, na China, país mais populoso do mundo, também abriga um dos principais portos do globo, entretanto em um outro nível de industrialização e urbanização. Schleicher et al. (2010) pesquisaram entre 2005 e 2007 a composição e concentração de partículas totais em suspensão e suas amostras constataram concentrações variantes entre 76 µg/m³ e 1028 µg/m³, com a expressiva média geométrica no outono de 2005 de 525 µg/m³, a menor média geométrica por estação do ano apresentada neste estudo foi de 236 µg/m³ no verão de 2006. Índices esses muito alto e superior aos índices encontrados no presente estudo e apontam uma situação de calamidade pública proporcionado pela emissão dos poluentes.

Quando a média mensal dos resultados dos poluentes são sobrepostas, podemos observar uma curva semelhante, especialmente entre os meses de agosto a dezembro, evidenciando a esperada relação entre PTS, NO₂ uma vez que ambos têm como provável fonte de emissão veículos pesados. Quando comparados com a média tráfego de veículos pesados, é possível observar similaridades entre as curvas obtidas, e em geral meses com maiores números de caminhões são aqueles que apresentam altas nas concentrações de poluentes.

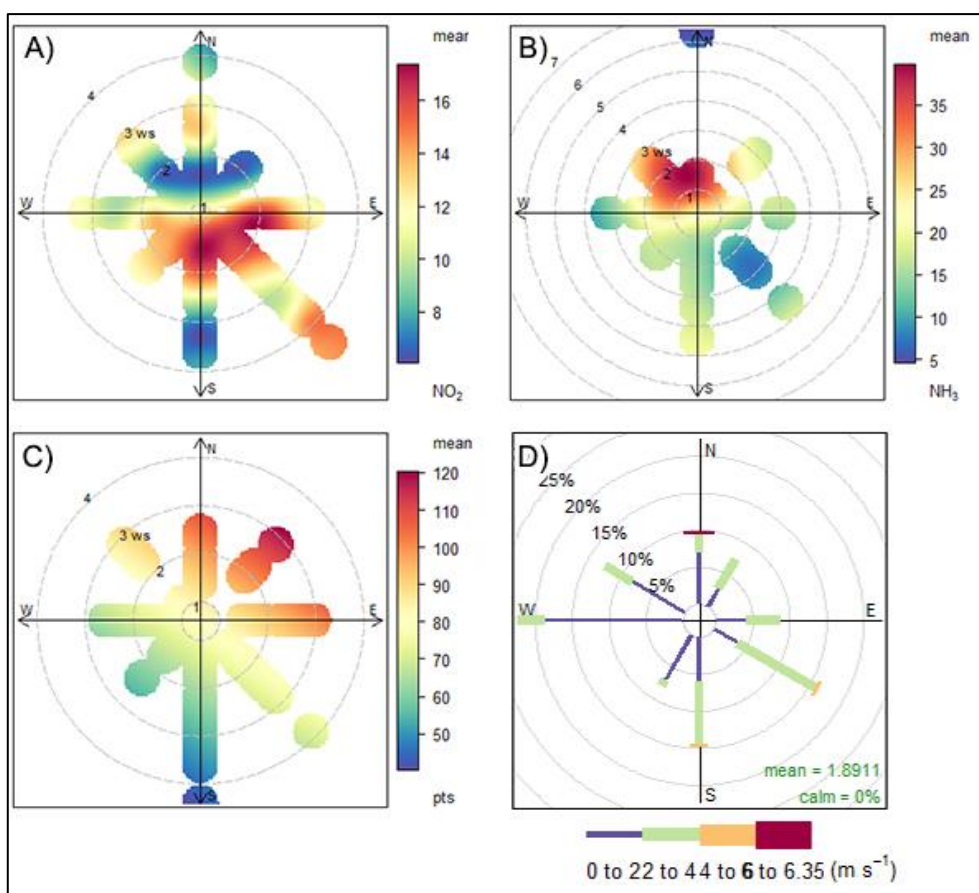
Figura 03. Comparação entre as médias mensais obtidas de NO₂ e PTS e a médias diárias de veículos pesados que passaram pela praça de pedágio em direção ao Litoral do Paraná.



Fonte: Os autores (2016).

A análise dos ventos no município ao longo da pesquisa indica que os ventos sul, sudeste e oeste foram predominantes. Para os ventos sul e sudeste a velocidade entre 2,2 a 4,4 m/s foram predominantes. Para o vento oeste a velocidade entre 0 a 2,2 foi predominante (Figura 4D).

Figura 04. Gráficos de plotagem polar bivariada para cada um dos poluentes estudados. Neste gráfico, os valores encontrados para poluentes são relacionados com as condições de velocidade e direção do vento do dia de amostragem, permitindo o diagnóstico das fontes potenciais de poluição. A - Dióxido de Nitrogênio (NO₂), B - Amônia (NH₃); C - Partículas Totais em Suspensão (PTS); D - Rosa dos ventos predominantes da região no período amostral.



Fonte: Os autores (2016).

Nos gráficos de plotagem polar bivariada é possível observar a relação entre os as concentrações de poluentes com as direções e velocidades dos ventos, permitindo sugerir a provável fonte desta emissão (Mapa da Figura 01). Com relação ao dióxido de nitrogênio as maiores concentrações foram encontradas com ventos fracos (até 2 m/s) provenientes de sul, sudeste e leste, o que sugere que a principal fonte de emissão, seja a Avenida Ayrton Sena (BR-277), que é um importante acesso ao Porto de Paranaguá (Figura 04A). Para Amônia, as maiores concentrações foram encontradas com ventos fracos (até 2 m/s) provenientes de norte, noroeste e oeste, corroborando a provável fonte como dos depósitos de fertilizantes encontrados naquela região do município (Figura

04B). Finalmente as maiores concentrações de PTS foram obtidas com ventos moderados (até 3 m/s) provenientes de nordeste e leste, como apresentado no Figura 03, aqui, além da influência da Rodovia de acesso ao Porto, sugere-se forte influência de origem Portuária para os resultados encontrados para Partículas Totais em Suspensão (PTS).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Paranaguá se apresenta como um estudo de caso importante no que diz respeito à poluição atmosférica. O isolamento geográfico de outros centros industriais, o porto e todo o complexo industrial a ele vinculado, são fatores que possibilitam identificar e quantificar os poluentes emitidos *in loco*, para então poder mensurar os possíveis impactos socioambientais relacionados à exposição aos mesmos.

O presente estudo traz os primeiros resultados de quantificação de poluentes para a região portuária de Paranaguá. Foram encontrados poluentes que podem estar relacionados ao tráfego de veículos pesados como esperado para esta região portuária. Além disso, a presença de amônia na atmosfera pode ser resultante da atividade industrial de fertilizantes presentes na região. Embora as concentrações encontradas para os poluentes estudados não estejam acima dos padrões previstos na legislação brasileira, é importante destacar que estes valores estão acima daqueles observados em cidades de maior porte ou com característica de alta industrialização no mundo todo. Além disso, é importante a reflexão de que os limites de poluentes encontrados na legislação brasileira e são muito permissivos quando comparados aos de outros países ou àqueles indicados pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Braga et al. (2001), através de análise de estudos relacionados ao efeito da poluição atmosférica na saúde humana concluíram que concentrações de poluentes atmosféricos podem acarretar infecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em baixas concentrações.

Sendo assim é possível supor que embora os níveis de contaminação averiguados não estejam acima dos padrões vigentes, o ambiente e a população eventualmente podem ser impactados pela presença de poluentes atmosféricos.

Finalmente, este trabalho apresenta a potencialidade do uso de Paranaguá como um estudo de caso para uma avaliação completa dos possíveis impactos da poluição atmosférica de um Porto graneleiro de grande porte, circundado por inúmeras Unidades de Conservação, em um país exportador de *commodities*, em um ambiente de expansão da atividade portuária brasileira inclusive com a perspectiva de novos empreendimentos portuários na região.

REFERÊNCIAS

- Aardenne, J. A. van, F. J. Dentener, J. G. J. Olivier, C. G. M. Klein Goldewijk, and J. Lelieveld. 2001. "A 1°×1° Resolution Data Set of Historical Anthropogenic Trace Gas Emissions for the Period 1890-1990." *Global Biogeochemical Cycles* 15 (4): 909–28. <https://doi.org/10.1029/2000GB001265>.
- Alebic-Juretic, Ana. 2008. "Airborne Ammonia and Ammonium within the Northern Adriatic Area, Croatia." *Environmental Pollution* 154 (3): 439–47. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.11.029>.
- Anatolaki, Ch., and R. Tsitouridou. 2007. "Atmospheric Deposition of Nitrogen, Sulfur and Chloride in Thessaloniki, Greece." *Atmospheric Research* 85 (3–4): 413–28. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.02.010>.
- Backes, Anna M., Armin Aulinger, Johannes Bieser, Volker Matthias, and Markus Quante. 2016. "Ammonia Emissions in Europe, Part II: How Ammonia Emission Abatement Strategies Affect Secondary Aerosols." *Atmospheric Environment* 126 (February): 153–61. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.039>.
- Bari, Abdul, Vincent Ferraro, Lloyd R. Wilson, Dan Luttinger, and Liaquat Husain. 2003. "Measurements of Gaseous HONO, HNO₃, SO₂, HCl, NH₃, Particulate Sulfate and PM_{2.5} in New York, NY." *Atmospheric Environment* 37 (20): 2825–35. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00199-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00199-7).
- Basahi, J. M., I. M. Ismail, and I. A. Hassan. 2014. "A Global Challenge of Air Pollution and Public Health: A Mini Review." *Advances in Environmental Biology* 8 (21): 281–88.
- Behera, Sailesh N., and Mukesh Sharma. 2010. "Investigating the Potential Role of Ammonia in Ion Chemistry of Fine Particulate Matter Formation for an Urban Environment." *Science of The Total Environment* 408 (17): 3569–75. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.017>.
- Braga, Alfesio, Luiz Alberto Amador Pereira, György Miklós Böhm, and Paulo Saldiva. 2001. "Poluição Atmosférica e Saúde Humana." *Revista USP*, no. 51 (November): 58. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71>.
- Cai, Xianlei, Zhenhong Li, E. Marian Scott, Xiuyang Li, and Mengyao Tang. 2016. "Short-Term Effects of Atmospheric Particulate Matter on Myocardial Infarction: A Cumulative Meta-Analysis." *Environmental Science and Pollution Research* 23 (7): 6139–48. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6186-3>.
- Carmichael, Gregory R, Martin Fern, Narisara Thongboonchoo, Jung-Hun Woo, L.Y Chan, Kentaro Murano, Pham Hung Viet, et al. 2003. "Measurements of Sulfur Dioxide, Ozone and Ammonia Concentrations in Asia, Africa, and South America Using Passive Samplers." *Atmospheric Environment* 37 (9–10): 1293–1308. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)01009-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)01009-9).
- Carslaw, David C., and Karl Ropkins. 2012. "Openair — An R Package for Air Quality Data Analysis." *Environmental Modelling & Software* 27–28 (January): 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>.
- Chiwa, Masaaki. 2010. "Characteristics of Atmospheric Nitrogen and Sulfur Containing Compounds in an Inland Suburban-Forested Site in Northern Kyushu, Western Japan." *Atmospheric Research* 96 (4): 531–43. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.01.001>.

- CONAMA. 2018. *Resolução n. 491, de 19 de Novembro de 2018. Dispõe Sobre Padrões de Qualidade Do Ar*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Conselho Nacional do Meio Ambiente. http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895.
- Day, D.E., X. Chen, K.A. Gebhart, C.M. Carrico, F.M. Schwandner, K.B. Benedict, B.A. Schichtel, and J.L. Collett. 2012. "Spatial and Temporal Variability of Ammonia and Other Inorganic Aerosol Species." *Atmospheric Environment* 61 (December): 490–98. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.045>.
- Energética Ltda. 2016. "Método Para Determinação de Dióxido de Nitrogênio Na Atmosfera Com Arsenito de Sódio, Equivalente a US EPA – N° EQN – 1277-026." http://www.energetica.ind.br/wp/env1/wpcontent/uploads/2016/01/env1_metodo-epa-no2-arsenito-sodio-eqn-277-026-rev01.pdf.
- Foroni, Felipe, Bruno Martins Gurgatz, Édipo Tagliatela, and Rodrigo Arantes Reis. 2017. "Poluição Atmosférica, Atividade Portuária e Industrial Em Paranaguá, Paraná: Um Estudo Sobre Contaminação Por Amônia (NH₃) e Dióxido de Nitrogênio (NO₂).” In *Anais Do II Simpósio Brasileiro de Desenvolvimento Territorial Sustentável*, 1337–46. Matinhos: Universidade Federal do Paraná.
- Fountoukis, C., A. Nenes, A. Sullivan, R. Weber, T. Van Reken, M. Fischer, E. Matías, M. Moya, D. Farmer, and R. C. Cohen. 2009. "Thermodynamic Characterization of Mexico City Aerosol during MILAGRO 2006." *Atmospheric Chemistry and Physics* 9 (6): 2141–56. <https://doi.org/10.5194/acp-9-2141-2009>.
- Francová, Anna, Vladislav Chrástný, Hana Šillerová, Martina Vítková, Jana Kocourková, and Michael Komárek. 2017. "Evaluating the Suitability of Different Environmental Samples for Tracing Atmospheric Pollution in Industrial Areas." *Environmental Pollution* 220 (January): 286–97. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.062>.
- Guerriero, Carla, Lia Chatzidiakou, John Cairns, and Dejan Mumovic. 2016. "The Economic Benefits of Reducing the Levels of Nitrogen Dioxide (NO₂) near Primary Schools: The Case of London." *Journal of Environmental Management* 181 (October): 615–22. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.039>.
- Gupta, A.K., Kakoli Karar, S. Ayoob, and Kuruvilla John. 2008. "Spatio-Temporal Characteristics of Gaseous and Particulate Pollutants in an Urban Region of Kolkata, India." *Atmospheric Research* 87 (2): 103–15. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.07.008>.
- Habeš, Suad, Zarema Obradović, Aida Ridžal, and Asmir Aldžić. 2013. "Air Pollution by Nitrogen Oxides in Sarajevo from 2005 to 2010." *Journal of Health Sciences* 3 (3): 250–54. <https://doi.org/10.17532/jhsci.2013.116>.
- Hassan, Salwa K., Ahmed A. El-Abssawy, and Mamdouh I. Khoder. 2013. "Characteristics of Gas-Phase Nitric Acid and Ammonium-Nitrate-Sulfate Aerosol, and Their Gas-Phase Precursors in a Suburban Area in Cairo, Egypt." *Atmospheric Pollution Research* 4 (1): 117–29. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.012>.
- Ianniello, A., F. Spataro, G. Esposito, I. Allegrini, E. Rantica, M. P. Ancora, M. Hu, and T. Zhu. 2010. "Occurrence of Gas Phase Ammonia in the Area of Beijing (China)." *Atmospheric Chemistry and*

Physics 10 (19): 9487–9503. <https://doi.org/10.5194/acp-10-9487-2010>.

IBGE. 2019. “População Estimada Do Município de Paranaguá-PR No Ano de 2019.” IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2019.
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/paranagua/panorama>.

Ilyas, SZ. 2010. “A Review of Transport and Urban Air Pollution in Pakistan.” *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 11 (2): 113–121. <https://doi.org/10.4314/jasem.v11i2.55004>.

Khwaja, Mahmood A., and Shaheen Rafi Khan. 2005. “Air Pollution: Key Environmental Issues in Pakistan.”

Krupa, S.V. 2003. “Effects of Atmospheric Ammonia (NH₃) on Terrestrial Vegetation: A Review.” *Environmental Pollution* 124 (2): 179–221. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00434-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00434-7).

Li, Huiming, Xin Qian, and Qin’geng Wang. 2013. “Heavy Metals in Atmospheric Particulate Matter: A Comprehensive Understanding Is Needed for Monitoring and Risk Mitigation.” *Environmental Science & Technology* 47 (23): 13210–11. <https://doi.org/10.1021/es404751a>.

Lin, Hualiang, Jun Tao, Yaodong Du, Tao Liu, Zhengmin Qian, Linwei Tian, Qian Di, et al. 2016. “Particle Size and Chemical Constituents of Ambient Particulate Pollution Associated with Cardiovascular Mortality in Guangzhou, China.” *Environmental Pollution* 208 (January): 758–66. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.10.056>.

Lin, Y-C., and M-T. Cheng. 2007. “Evaluation of Formation Rates of NO₂ to Gaseous and Particulate Nitrate in the Urban Atmosphere.” *Atmospheric Environment* 41 (9): 1903–10. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.065>.

Lodge, Jr. 1988. *Methods of Air Sampling and Analysis*. Edited by James P. Lodge. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press LLC.

Macintyre, Helen L., Clare Heaviside, Lucy S. Neal, Paul Agnew, John Thornes, and Sotiris Vardoulakis. 2016. “Mortality and Emergency Hospitalizations Associated with Atmospheric Particulate Matter Episodes across the UK in Spring 2014.” *Environment International* 97 (December): 108–16. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.07.018>.

Malik, Amrita, and Roma Tauler. 2015. “Exploring the Interaction between O₃ and NO_x Pollution Patterns in the Atmosphere of Barcelona, Spain Using the MCR–ALS Method.” *Science of The Total Environment* 517 (June): 151–61. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.105>.

Mannucci, Pier Mannuccio, Sergio Harari, Ida Martinelli, and Massimo Franchini. 2015. “Effects on Health of Air Pollution: A Narrative Review.” *Internal and Emergency Medicine* 10 (6): 657–62. <https://doi.org/10.1007/s11739-015-1276-7>.

Matsumoto, Mitsuhiro, and Toshiichi Okita. 1998. “Long Term Measurements of Atmospheric Gaseous and Aerosol Species Using an Annular Denuder System in Nara, Japan.” *Atmospheric Environment* 32 (8): 1419–25. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00270-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00270-7).

Mozeto, Antonio A. 2001. “Química Atmosférica: A Química Sobre Nossas Cabeças.” *Química Nova*, no. Edição Especial: 41–49.

- Murruni, L.G., V. Solanes, M. Debray, A.J. Kreiner, J. Davidson, M. Davidson, M. Vázquez, and M. Ozafrán. 2009. "Concentrations and Elemental Composition of Particulate Matter in the Buenos Aires Underground System." *Atmospheric Environment* 43 (30): 4577–83. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.025>.
- Myers, N, R a Mittermeier, C G Mittermeier, G a da Fonseca, and J Kent. 2000. "Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities." *Nature* 403 (6772): 853–58. <https://doi.org/10.1038/35002501>.
- Nie, Wei, Tao Wang, Wenxing Wang, Xiaolin Wei, and Qian Liu. 2013. "Atmospheric Concentrations of Particulate Sulfate and Nitrate in Hong Kong during 1995–2008: Impact of Local Emission and Super-Regional Transport." *Atmospheric Environment* 76 (September): 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.001>.
- Pandolfi, Marco, Yolanda Gonzalez-Castanedo, Andrés Alastuey, Jesus D. de la Rosa, Enrique Mantilla, A. Sanchez de la Campa, Xavier Querol, Jorge Pey, Fulvio Amato, and Teresa Moreno. 2011. "Source Apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} at Multiple Sites in the Strait of Gibraltar by PMF: Impact of Shipping Emissions." *Environmental Science and Pollution Research* 18 (2): 260–69. <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0373-4>.
- Parmar, R.S, G.S Satsangi, A Lakhani, S.S Srivastava, and S Prakash. 2001. "Simultaneous Measurements of Ammonia and Nitric Acid in Ambient Air at Agra (27°10'N and 78°05'E) (India)." *Atmospheric Environment* 35 (34): 5979–88. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00394-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00394-0).
- Perrino, C, M Catrambone, A Di Menno Di Bucchianico, and I Allegrini. 2002. "Gaseous Ammonia in the Urban Area of Rome, Italy and Its Relationship with Traffic Emissions." *Atmospheric Environment* 36 (34): 5385–94. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00469-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00469-7).
- Pio, C.A., I.M. Santos, T.D. Anacleto, T.V. Nunes, and R.M. Leal. 1991. "Particulate and Gaseous Air Pollutant Levels at the Portuguese West Coast." *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 25 (3–4): 669–80. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90065-F](https://doi.org/10.1016/0960-1686(91)90065-F).
- Reche, Cristina, M. Viana, T. Moreno, X. Querol, A. Alastuey, J. Pey, M. Pandolfi, et al. 2011. "Peculiarities in Atmospheric Particle Number and Size-Resolved Speciation in an Urban Area in the Western Mediterranean: Results from the DAURE Campaign." *Atmospheric Environment* 45 (30): 5282–93. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.059>.
- Reche, Cristina, Mar Viana, Marco Pandolfi, Andrés Alastuey, Teresa Moreno, Fulvio Amato, Anna Ripoll, and Xavier Querol. 2012. "Urban NH₃ Levels and Sources in a Mediterranean Environment." *Atmospheric Environment* 57 (September): 153–64. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.021>.
- Ritz, Beate, Pei-Chen Lee, Johnni Hansen, Christina Funch Lassen, Matthias Ketznel, Mette Sørensen, and Ole Raaschou-Nielsen. 2016. "Traffic-Related Air Pollution and Parkinson's Disease in Denmark: A Case–Control Study." *Environmental Health Perspectives* 124 (3): 351–56. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409313>.
- Schleicher, Nina, Stefan Norra, Fahe Chai, Yizhen Chen, Shulan Wang, and Doris Stüben. 2010. "Anthropogenic versus Geogenic Contribution to Total Suspended Atmospheric Particulate Matter and Its Variations during a Two-Year Sampling Period in Beijing, China." *J. Environ. Monit.*

12 (2): 434–441. <https://doi.org/10.1039/B914739J>.

- Scudlark, Joseph R., Jennifer A. Jennings, Megan J. Roadman, Karen B. Savidge, and William J. Ullman. 2005. “Atmospheric Nitrogen Inputs to the Delaware Inland Bays: The Role of Ammonia.” *Environmental Pollution* 135 (3): 433–43. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.11.017>.
- Swaluw, Eric van der, Willem A.H. Asman, Hans van Jaarsveld, and Ronald Hoogerbrugge. 2011. “Wet Deposition of Ammonium, Nitrate and Sulfate in the Netherlands over the Period 1992–2008.” *Atmospheric Environment* 45 (23): 3819–26. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.017>.
- Ta, Wanquan, Tao Wang, Honglang Xiao, Xueyi Zhu, and Zhen Xiao. 2004. “Gaseous and Particulate Air Pollution in the Lanzhou Valley, China.” *Science of The Total Environment* 320 (2–3): 163–76. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.08.026>.
- Tagliatella, Edipo Vinicius dos Santos. 2014. “Avaliação Da Qualidade Do Ar No Colégio Estados Unidos Em Paranaguá-PR.” *Matinhos: Universidade Federal do Paraná*.
- The R Development Core Team. 2008. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Tzannatos, Ernestos. 2010. “Ship Emissions and Their Externalities for the Port of Piraeus – Greece.” *Atmospheric Environment* 44 (3): 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.024>.
- US EPA. 2015. “Transportation, Air Pollution, and Climate Change.” United States Environmental Protection Agency. 2015. <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change>.
- Viana, Mar, Pieter Hammingh, Augustin Colette, Xavier Querol, Bart Degraeuwe, Ina de Vlieger, and John van Aardenne. 2014. “Impact of Maritime Transport Emissions on Coastal Air Quality in Europe.” *Atmospheric Environment* 90 (June): 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>.
- Walker, J.T., Dave R Whitall, Wayne Robarge, and Hans W. Paerl. 2004. “Ambient Ammonia and Ammonium Aerosol across a Region of Variable Ammonia Emission Density.” *Atmospheric Environment* 38 (9): 1235–46. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.027>.
- Weisskopf, Marc G., Marianthi-Anna Kioumourtzoglou, and Andrea L. Roberts. 2015. “Air Pollution and Autism Spectrum Disorders: Causal or Confounded?” *Current Environmental Health Reports* 2 (4): 430–39. <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0073-9>.
- WHO. 2013. “Health Effects of Particulate Matter. Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia (2013).” World Health Organization - WHO. 2013. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-effects-of-particulate-matter.-policy-implications-for-countries-in-eastern-europe,-caucasus-and-central-asia-2013>.
- . 2016. “Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease.” World Health Organization - WHO. 2016. <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-globalassessment/en/>.
- Wu, Yiyun, Baojing Gu, Jan Willem Erisman, Stefan Reis, Yuanyuan Fang, Xuehe Lu, and Xiuming

Zhang. 2016. "PM2.5 Pollution Is Substantially Affected by Ammonia Emissions in China." *Environmental Pollution* 218 (November): 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.027>.

Yamamoto, Noriko, Hideaki Nishiura, Takahisa Honjo, Yoshiki Ishikawa, and Koji Suzuki. 1995. "A Long-Term Study of Atmospheric Ammonia and Particulate Ammonium Concentrations in Yokohama, Japan." *Atmospheric Environment* 29 (1): 97–103. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00226-B](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00226-B).

Zbieranowski, Antoni L., and Julian Aherne. 2012. "Spatial and Temporal Concentration of Ambient Atmospheric Ammonia in Southern Ontario, Canada." *Atmospheric Environment* 62 (December): 441–50. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.041>.

Zhou, Ying, Shuiyuan Cheng, Dongsheng Chen, Jianlei Lang, Gang Wang, Tingting Xu, Xiaoqi Wang, and Sen Yao. 2015. "Temporal and Spatial Characteristics of Ambient Air Quality in Beijing, China." *Aerosol and Air Quality Research* 15 (5): 1868–80. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.11.0306>.

Analysis of NO₂, NH₃ and TPM in Paranaguá - PR Atmosphere

ABSTRACT

Harbor areas are the center of economic activities: nevertheless, they also generate environmental impacts including a plethora of air pollution sources. The consequences of air pollution on the health of the local population is a major the environmental risk. Paranaguá has its economy based on port activity, the port of Paranaguá is one of the most important in Brazil, and the biggest grain exporter in Latin America. In this study, we used a small volume sampler to assess the ammonia (NH₃) and nitrogen dioxide (NO₂) concentrations. We also used a (large volume sampler) apparatus AGV for the determination of suspended total particulate matter (TPM). The samples were collected within period of a year. The annual average for nitrogen dioxide, ammonia and suspended particulate matter was $12.9 \pm 7.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3.61 \pm 3.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $73,91 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 36,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. These data were related to environmental variables by statistical analysis, using the R software. The annual averages of the pollutants sampled were compared to the results obtained in surveys around the world, and Paranaguá presented results were close to levels founded in large urban environments.

Keywords: Air Pollution; Ports; Paranaguá.

Submissão: 01/05/2018

Aceite: 13/03/2019